Journal of Horticultural Science
https:// jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 36, No. 3, Fall 2022, p. 603-618

Evaluation of Growth, Yield and Morphological and Physiological Characteristics of Five Mint (*Mentha* spp.) Species in the Aeroponic System under Greenhouse

M. Yaghobvand[1], H. Mumivand[2*], M.R. Raji[3], A. Banan[4]

Received: 16-09-2021
Revised: 23-11-2021
Accepted: 16-01-2022
Available Online: 25-11-2022

How to cite this article:
Yaghoobvand, M., Mumivand, H., Raji, M.R., & Banan, A. (2022). Evaluation of Growth, Yield and Morphological and Physiological Characteristics of Five Mint (*Mentha* spp.) Species in the Aeroponic System under Greenhouse. *Journal of Horticultural Science 36*(3): 603-618. (In Persian with English abstract)
DOI: 10.22067/jhs.2022.72347.1089

Introduction

The aeroponic system is a promising technique for the future of agriculture, growing plants in an air or mist environment without the use of soil or an aggregate medium. In aeroponic, plants are suspended in a closed or semi-closed environment by spraying the plant's dangling roots and lower stem with an atomized or sprayed, nutrient-rich water solution (30). Increased aeration of nutrient solution delivers more oxygen to plant roots in aeroponic in compare to conventional hydroponic systems, stimulating growth and helping to prevent pathogen formation (1). Cultivation of medicinal plants under controlled conditions of aeroponic and hydroponic systems commercially provides a better result in terms of quality improvement, bioactivity and biomass production (5, 4).

Mint (*Mentha*) is one of the most important genus of Lamiaceae family. Different species of the genus have high economic value, due to their active and aromatic substances and are used as raw materials in food, cosmetics, health, beverage and pharmaceutical industries. *M. piperita*, *M. spicata* and *M. suaveolens* are the most common and popular species of the genus for cultivation. *M. aquatica* is also a perennial plant of the genus that is cultivated in Europe, North and Northwest Africa and Southwest Asia (2). Aeroponic system is more cost effective than other systems. Because of the reduced volume of solution throughput, less water and fewer nutrients are needed in the system at any given time compared to other nutrient delivery systems. However, due to lack of research and sufficient technical information, the use of aeroponic system is not common among farmers and greenhouse owners. In addition, many tips are not yet scientifically known about the cultivation of different plant species in this system (4). Despite the benefits of aeroponics, no research has been previously conducted on the cultivation of different species of mint in this system. Therefore, the present study was conducted with the aim of investigation of growth, yield and morpho-physiological characteristics of five mint species in the aeroponic system.

Methods and Methods

This study was conducted in greenhouses of faculty of Agriculture and Natural Resources of Lorestan University in 2020. The experiment was performed as a split plot design. Mentha species (including *M. aquatica*, *M. pulegium*, *M. spicata*, *M. suaveolens* and *M. piperita*) were considered as the main plot and harvest time (first and second harvests) was used as sub-plot. In each experimental block, one row (with ten plants) of five mint species was planted. In the early stages of growth, plants were fed with half Hoagland nutrient solution and then with complete Hoagland solution. Finally, morphological and physiological traits and some biochemical characteristics of plants were measured. After harvesting the first batch of plants and in order to better evaluation

1, 2 and 3- M.Sc. Student and Assistant Professors Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran, respectively.
4- Assistant Professor, Department of Fisheries and Environmental Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran
(*- Corresponding Author Email: mumivand.h@lu.ac.ir)

of species in the aeroponics system, all studied traits were measured about two months after the first harvest. Analysis of variance was performed based on the experimental design using SAS software. The comparison of means was also done with the least significant difference (LSD) test at the level of 5%.

Results and Discussion

The results showed that *M. spicata* and *M. suaveolens* had the highest leaf to stem ratio. The highest stem dry weight and plant height were related to *M. pulegium*. While, the highest leaf area, leaf fresh and dry weight, stem fresh and dry weight, stolon fresh and dry weight, shoot fresh and dry weight, total plant dry weight and relative water content were related to *M. aquatic*, followed by *M. piperita*. In addition, *M. piperita* had shown the highest fresh root weight. The highest amount of carotenoid and chlorophyll, photosynthesis rate and CO_2 under the stomata was obtained in *M. piperita*. In this experiment, most of the yield-attributes traits including leaf area, leaf fresh and dry weight, root fresh weight, shoot fresh weight and total plant dry weight, as well as relative water content and photosynthesis rate were higher in the second harvest than the first one.

Conclusion

All studied species in this experiment were successfully growth in the aeroponic system. Due to high water use efficiency, no need for soil and high crop production, mint cultivation in the aeroponic system can be a healthy and profitable alternative to in soil cultivation approach. According to the results of the present study, *M. aquatica* has shown higher performance than other species in terms of the yield attributes traits (including leaf number, leaf area, fresh and dry weight of plant, fresh and dry weight of shoots and fresh and dry weight of leaves). Among the other species, the highest shoot dry weight and plant dry weight was obtained by *M. piperita*. Finally, the high potential of *M. aquatica* and *M. piperita* for cultivation in the aeroponic system can be concluded.

Keywords: Aeroponics, *M. piperita, M. aquatica*, *M. pulegium*, Photosynthesis

نشریه علوم باغبانی
https:// jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱، ص. ۶۱۸-۶۰۳

ارزیابی رشد، عملکرد و خصوصیات مورفولوژی و فیزیولوژی پنج گونه نعناع (*Mentha spp.*) در سیستم هواکشت تحت شرایط کشت گلخانه‌ای

مریم یعقوب‌وند[۱]- حسن مومیوند[۲*]- محمدرضا راجی[۳]- اشکان بنان[٤]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۶

چکیده

امروزه استفاده از محیط‌های کنترل شده و روش‌های تولید بدون خاک، به‌دلیل قابلیت بالای این روش‌ها در استفاده کارآمد از منابع و قابلیت‌های کشت فشرده، در حال افزایش است. به منظور بررسی ارزیابی رشد، عملکرد و خصوصیات مورفولوژی، فیزیولوژی و بیوشیمیایی پنج گونه نعناع در سیستم هواکشت، آزمایشی در شرایط گلخانه انجام شد. مطالعه به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان در سال ۱۳۹۸ اجرا گردید و آنالیز داده‌ها به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کرت‌های خرد شده در زمان انجام شد. گونه های نعناع (شامل نعناع آبی *Mentha aquatica*، نعناع پونه *Mentha pulegium*، نعناع سبز *Mentha spicata*، نعناع سیب *Mentha suaveolens* و نعناع فلفلی *Mentha piperita*) به‌عنوان فاکتور اصلی و برداشت (چین اول و چین دوم) به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که گونه‌های نعناع سیب و نعناع سبز بیش‌ترین نسبت برگ به ساقه را به ترتیب به میزان ۱/۳۶۸ و ۱/۳۶۴ داشتند. بیش‌ترین سطح برگ، وزن تر و خشک برگ، وزن تر و خشک ساقه، وزن تر و خشک استولون، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن خشک کل بوته و محتوای نسبی آب مربوط به گونه نعناع آبی و پس از آن گونه نعناع فلفلی بود. علاوه بر این گونه نعناع فلفلی بیش‌ترین وزن تر ریشه را دارا بود. بیش‌ترین میزان کاروتنوئید و کلروفیل در گونه نعناع فلفلی به دست آمد و بیش‌ترین میزان فتوسنتز و دی‌اکسیدکربن زیر روزنه نیز مربوط به گونه نعناع پونه بود. در این آزمایش اغلب صفات مرتبط با عملکرد شامل سطح برگ، وزن تر و خشک برگ، وزن تر ریشه، وزن تر اندام هوایی، وزن خشک کل بوته، محتوای نسبی آب و فتوسنتز در چین دوم بالاتر بودند. با توجه به نتایج به‌دست آمده در مجموع گونه نعناع آبی نسبت به دیگر گونه‌ها از لحاظ اغلب صفات مورد مطالعه برتری نشان داد. در حالی‌که گونه نعناع فلفلی نیز از رشد و عملکرد قابل توجهی برخوردار بود. بنابراین کشت گونه نعناع فلفلی جهت مصارف دارویی و کشت گونه نعناع آبی جهت مصرف تازه‌خوری در سیستم هواکشت مناسب است.

واژه‌های کلیدی: پونه، فتوسنتز، نعناع آبی، نعناع فلفلی، هواکشت

مقدمه

با توسعه زندگی شهری و صنعتی‌شدن سریع جوامع و همچنین ذوب‌شدن کوه‌های یخ (به‌عنوان یک تاثیر آشکار گرم‌شدن کره زمین)، سطح زمین‌های زیر کشت بیش از قبل کاهش می‌یابد. کشت مداوم، خشکسالی‌های مکرر، غیر قابل پیش‌بینی بودن الگوهای آب و هوایی، افزایش دما، مدیریت ضعیف منابع آب، کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و غیره تولید مواد غذایی در کشاورزی مبتنی بر خاک را تهدید می‌کند (Tiwari, 2008، Mumivand *et al.*, 2010). بنابراین استفاده از محیط‌های کنترل شده و روش‌های تولید بدون خاک به‌دلیل قابلیت بالای این روش‌ها در استفاده کارآمد از منابع و قابلیت‌های کشت فشرده، در حال افزایش است (Dannehl, *et al.*, 2017). سیستم‌های کشت بدون خاک می‌توانند تولید زیست‌توده،

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیاران گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم اباد، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: mumivand.h@lu.ac.ir
۴- استادیار گروه علوم و مهندسی شیلات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

DOI: 10.22067/jhs.2022.72347.1089

کیفیت، عملکرد و فعالیت زیستی مواد خام را بهبود بخشد. علاوه بر این امکان تولید محصولات و مواد خام با کیفیت بالا و عاری از علف‌های هرز، عوامل بیماری‌زا و خاک در این سیستم‌ها وجود دارد (Dorai *et al.*, 2001).

سیستم هواکشت[1] یکی از بهترین روش‌های پرورش گیاه برای نیل به امنیت غذایی و توسعه پایدار در نظر گرفته شده است. این سیستم در کشورهای مختلف بازدهی امیدوار کننده‌ای داشته است و به‌عنوان کارآمدترین، مفیدترین، قابل توجه‌ترین، اقتصادی‌ترین و مناسب‌ترین سیستم برای رشد گیاه در مقایسه با کشت در خاک و سایر روش‌های کشت بدون خاک توصیه می‌شود (Lakhiar *et al.*, 2018). سیستم هواکشت یک تکنیک امیدوارکننده برای آینده است که مبتنی بر پاشش آب و عناصر غذایی به‌صورت ذرات بسیار ریز و پودری روی ریشه‌های گیاه است (Otazu, 2010). در این سیستم اندام‌های زیرزمینی در یک محفظه تاریک محصور شده و محلول حاوی مواد مغذی با دستگاه مه‌پاش به محفظه وارد می‌شود. هواکشت هوادهی ریشه‌ها را بهینه می‌کند، که مهم‌ترین عامل افزایش عملکرد گیاه در مقایسه با سیستم‌های رایج هیدروپونیک و کاشت در خاک است (Asao, 2012). از دیگر مزایای آن می‌توان به بازگرداندن عناصر غذایی، افزایش راندمان مصرف آب و کنترل مناسب میزان مواد مغذی و pH اشاره کرد. از تکنیک هواکشت برای تولید بسیاری از گونه‌های مختلف باغبانی با موفقیت استفاده شده است (Molitor and Fischer, 1997; Biddinger *et al.*, 1998). تکنیک‌هایی مانند سیستم هواکشت طبق گزارش سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا (NASA[2]) می‌تواند میزان مصرف آب، مواد مغذی و سموم دفع آفات را به ترتیب ۹۸، ۶۰ و ۱۰۰ درصد کاهش و عملکرد گیاه را ۴۵ تا ۷۵ درصد افزایش دهد (NASA, 2006).

جنس نعناع (*Mentha*) یکی از مهم‌ترین جنس‌ها در خانواده نعناعیان (Lamiaceae) است. این جنس شامل حدود ۱۹ گونه طبیعی و ۱۳ هیبرید طبیعی است که به طور گسترده در اروپا، آفریقا، آسیا، استرالیا و آمریکای شمالی توزیع شده اند (Kumar, 2011). وجود خواص دارویی متعدد در گونه‌های مختلف این جنس، سبب شده تا امروزه بیش از ۸۰ درصد مردم جهان از این گیاهان بهره ببرند. اندام هوایی گیاهان جنس نعناع دارای خواص دارویی متعددی مانند ضداسپاسم، ضدنفخ، درمان بیماری‌های معده و ضدعفونی کننده است (Nezami, 2016). گونه‌های مختلف این جنس به‌دلیل داشتن مواد فعال و معطر از ارزش اقتصادی بالایی برخوردار هستند و به‌عنوان ماده اولیه در صنایع غذایی، آرایشی، بهداشتی، آشامیدنی و دارویی کاربرد دارند. از نعناع به‌عنوان یک داروی ضدعفونی‌کننده، کاهش دهنده‌ی اختلالات گوارشی و کاهنده‌ی سردرد، خوشبوکننده‌ی خمیردندان، عطر، لوازم آرایشی، شیرینی و آروماتراپی استفاده می‌شود (Anon, 2009). نعناع در ابتدا به عنوان گیاه دارویی برای معده‌درد و دردهای قفسه سینه استفاده می‌شد و معمولاً به‌عنوان دمنوش برای کمک به تسکین درد معده استفاده می‌شود. در قرون وسطی از برگ نعناع پودر شده برای سفیدکردن دندان استفاده می‌شد. چای نعنا ادرارآور قوی است. نعناع همچنین به هضم غذا کمک می‌کند، به شکلی که باعث تجزیه چربی‌ها می‌شود (Quattrocchi, 1974). تعداد برگ و سطح برگ مهم‌ترین فاکتورها برای ارزیابی عملکرد و پتانسیل اقتصادی گونه‌های نعناع به‌شمار می‌رود (Zargari, 2014). خواص درمانی گونه‌های نعناع به‌دلیل داشتن مقادیر بالای ترکیبات فنلی، اسانس‌ها، ترپنوییدها، آنتوسیانین‌ها و فلاونوئیدها است. با این وجود ترکیب شیمیایی اسانس گونه‌های مختلف جنس نعناع تفاوت‌های قابل توجهی دارد (Kasrati *et al.*, 2014).

نعناع فلفلی (*Mentha piperita*)، نعناع سبز (*Mentha spicata*) و نعناع سیب (*Mentha suaveolens*) از رایج‌ترین و محبوب‌ترین گونه‌ها برای کشت هستند (Ortiz, 1992). نعناع آبی (*Mentha aquatica*) نیز گیاهی چند ساله و علفی است که ارتفاع آن به ۹۰ سانتی‌متر می‌رسد. ساقه‌ها به صورت سبز یا بنفش و متغیر کرک‌دار تا تقریبا بدون کرک هستند. برگ‌ها بیضی شکل، سبز (گاهی بنفش)، متقابل، دندانه‌دار و از کرک‌دار تا تقریباً بدون کرک متفاوت است (Tiwari, 2008). نعناع سبز گیاهی است علفی با ریشه سطحی و ساقه‌های مستقیم و چهارگوش و ساقه زیرزمینی و برگ‌های خوش‌بوی آن خوراکی و دارویی است. برگ‌های آن متقابل، نیزه‌ای یا دوکی و دارای کرک‌های کمی است، حاشیه آن دارای بریدگی‌های عمیقی است و بریدگی‌های کناره آن نوک تیز است (Yang *et al.*, 2019). نعناع فلفلی در حال حاضر یکی از مهم‌ترین گیاهان معطر دارویی از نظر اقتصادی است که در اکثر نقاط دنیا کشت می‌شود. نعناع فلفلی یک هیبرید بین گونه‌ای و عقیم است که از تلاقی نعناع آبی و نعناع سبز حاصل می‌شود. ساقه‌ها معمولاً بنفش مایل به قرمز و مربعی هستند. برگ‌ها در قسمت زیرین معطر، دندانه‌دار و کرک‌دار است. نعناع پونه (*Mentha pulegium*) به‌دلیل خاصیت تحریکی و ضداسپاسم به‌طور سنتی در درمان سوهاضمه متورم و قولنج روده مورد استفاده قرار می‌گیرد (Newall *et al.*, 1996).

در کشاورزی مدرن فناوری کشت گیاهان در سیستم‌های هواکشت و آبکشت و در محیط‌های کنترل‌شده به‌سرعت در حال پیشرفت است. استفاده از سیستم‌های نوین در مقایسه با روش‌های قدیمی زراعت و باغبانی، باعث بهبود خصوصیات رشد گیاهان در بسیاری از جنبه‌ها می‌شود (Lakhiar *et al.*, 2018). بهبود رشد، عملکرد وکیفیت محصولات کشاورزی تحت سیستم‌های هیدروپونیک و هواکشت در مطالعات متعددی گزارش شده است (Lakhiar *et al.*,

1- Aeroponic
2- National Aeronautics and Space Administration

(Lynch *et al.*, 2012 ;Kawasaki *et al.*, 2014; 2020). هایـدن (Hyden, 2006) عنوان کرد که سیسـتم هواکشـت گزینـه مناسـبی برای تولید گیاهان دارویی ریزوم‌دار و ریشه‌ای اسـت. کشـت گیاهـان دارویی و سبزی‌ها در شرایط کنترل شده‌ی سیستم‌هـای هواکشـت و هیدروپونیک پاسخ بهتری از نظر بهبود کیفیت، فعالیت‌زیستی و تولیـد زیست‌توده در مقیاس تجاری فراهم می‌کند (Böhme and Pinker, 2013؛Chandra *et al.*, 2014). چنـدین مطالعـه از سیسـتم‌هـای هواکشت و هیدروپونیک به عنوان یک فناوری مدرن و ابتکاری برای کشت گیاهان تحت سیستم بدون خاک گزارش شده است. با اسـتفاده از این فناوری‌ها می‌توان بحران‌های رو به‌رشـد در تولیـد محصـولات کشاورزی از جمله بحران کمبود آب و کیفیت پایین آب را تا حـدودی جبران نمود (Ritter, 2001). موحدی و رسـتمی (Movahedi and Rostami, 2020) گزارش کردنـد کـه گیاهـان دارویـی سـرخارگل، پنیرباد و کاسنی دارای ارتفاع بوته، طول ریشه، تعداد برگ، وزن تـر و خشک ریشه و اندام هوایی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکـرد بـالایی در سیستم هواکشت بودند. بنابراین کشت ایـن گیاهـان دارویـی را در سیستم هواکشت جهت حصول کمیت و کیفیت بالاتر توصـیه کردنـد. نتایج مطالعه بوهم و پینکر (Böhme and Pinker, 2013) نیز نشان داد کـه گیاهـان دارویـی ریحـان[1]، ریحـان مقـدس[2]، پـریلا[3] و بـالم ویتنامی[4] تولید زی‌توده گیاهی، سطح برگ و تعداد ساقه بالایی در سه چین برداشت در سیسـتم هواکشـت داشـتند. عـلاوه بـر ایـن میـزان ویتامین ث، کاروتنوئید و اسانس گیاهان نیز نسبت به مقادیر ذکر شده در منابع قابل توجه بود.

استفاده از تکنیک‌های مدرن کشاورزی می‌تواند راه‌حـل مناسـبی برای مقابله با تهدیدات ناشی از عـدم امنیـت غـذایی باشـد. در حـال حاضر، به دلیل عـدم تحقیقـات و اطلاعـات فنـی کـافی، اسـتفاده از سیستم هواکشت در میان کشاورزان و گلخانه‌داران رایج نیست. علاوه بر این هنوز نکات زیادی در مورد کشت گونه‌های گیاهی مختلـف در این سیستم از نظر علمی مشخص نیست و جنبه‌های مختلف سیسـتم برای دستیابی به میزان تولید بالاتر مورد بررسـی قـرار نگرفتـه اسـت (Calori, 2017). گونه‌های مختلف جنس نعناع از مهم‌ترین گیاهـان باغبانی به شمار می‌روند که کاربرد زیادی به عنوان سبزی تازه‌خـوری و گیاه دارویی (در صنایع غذایی، آرایشی–بهداشتی و داروسازی) دارند. علاوه براین سیستم هواکشت یکی از جدیدترین و بهترین روش‌هـای کشت گلخانه‌ای به حساب می‌آید. با این وجود، پـژوهش‌هـای بسـیار محدودی در ارتباط با کشت گونه‌های نعناع در سیستم هواکشت وجود دارد. علاوه براین هیچ گونه مقایسه جامعی بین گونه‌های مهم جـنس نعناع در گلخانه صورت نگرفته است. بنابراین پژوهش حاضر با هـدف ارزیـابی قابلیـت کشـت و مقایسـه رشـد، عملکـرد و خصوصـیات مورفولوژی و فیزیولوژی پنج گونه نعناع در سیستم کشـت هواکشـت صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

بـه منظـور بررسـی قابلیـت کشـت و مقایسـه رشـد، عملکـرد و خصوصیات مورفولوژی و فیزیولوژی پنج گونه مختلف نعنـاع (شـامل: نعناع آبـی *Mentha aquatica*، نعنـاع پونـه *Mentha pulegium*، نعناع سبز *Mentha spicata*، نعنـاع سـیب *Mentha suaveolens* و نعناع فلفلی *Mentha piperita*) در سیستم کشت هواکشت، آزمایشی گلخانه‌ای طراحی و اجرا شد. این مطالعه به‌صورت طـرح بلـوک‌هـای کامل تصادفی در سـه تکـرار در گلخانـه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشـگاه لرسـتان در سال ۱۳۹۸ انجـام شـد. در هـر یـک از بلوک‌های آزمایشی یک ردیف (با تعداد ده بوته) از پنج گونه مختلـف کشت گردید.

در این مطالعه برای هر بلوک آزمایشی یک میز مستطیلی به ابعاد ۱/۵ در۲ ساخته شد روی هر میز تعداد ۵ عدد لوله پی‌وی‌سی به قطـر ۱۱۰ میلی‌متر و طول ۲ متر (بـا فاصـله ۳۰ سـانتی‌متـر از هـم) قـرار گرفت. در هر لوله ۱۰ سوراخ به قطـر ۵ سـانتی‌متـر بـرای قـراردادن گلدان شیاردار هواکشت ۵ سانتی‌متری بـا ارتفـاع ۷ سـانتی‌مترایجـاد گردید و از یک تکـه اسـتیروفوم بـرای نگهـداری طوقـه‌ی نشـاها در دهانه‌ی گلدان استفاده شد. از نازل فیتکو با فشارکم درون لولـه‌هـای پلی‌اتیلن با مشخصات فوق استفاده شد. نازل‌هـا درون محفظـه بسـته قرار گرفتند و با استفاده از فشار پمپ آب یک اینچی با روشـن شـدن تایمر دیجیتال در هر ۲۰ دقیقه ۲۰ ثانیه پاشش صورت گرفت. محلول غذایی از مخازن استوک (تانک‌های A و B) به درون مخزن مصـرف ریخته می‌شد و از آنجا به درون سیستم پمپ گردید و مازاد مـه درون مخزن دیگری جمع‌آوری می‌شد. بعد از تنظیم pH و EC بـه مخـزن ذخیره هدایت و مجدد مورد استفاده قرار می‌گرفت. از لامپ یووی ۱۶ وات نیز برای ضدعفونی محلول غذایی هواکشت استفاده گردید.

نشاهای پنج گونه نعناع مورد مطالعه از شرکت زرین گیاه ارومیـه تهیه شد. نشاها بـه بسـترهای کشـت انتقـال داده شـدند. در مراحـل اولیه‌ی رشد تغذیه گیاهان با محلول غذایی نیم هوگلند و پس از آن با محلول هوگلند کامل انجام شد (Hothem *et al.*, 2003) (جدول ۱).

1- *Ocimum basilicum*
2- *Ocimum sanctum*
3- *Perilla frutescens*
4- *Elsholtzia ciliate*

جدول ۱- اجزای محلول غذایی هوگلند
Table 1- The components of Hoagland's nutrient solution

Composition ترکیب	Stock solution غلظت محلول پایه	Concentration غلظت
$MgSO_4.7H_2O$ سولفات منیزیم ۷آبه	24.6 g.100 mL^{-1}	**2 ml.L^{-1}**
$Ca(NO_3)_2.4H_2O$ کلسیم نیترات ۴ آبه	23.6 g.100 mL^{-1}	**5 ml.L^{-1}**
KH_2PO_4 مونوپتاسیم فسفات	13.6 g.100 mL^{-1}	**1 ml.L^{-1}**
KNO_3 پتاسیم نیترات	10.1 g.100 mL^{-1}	**5 ml.L^{-1}**
H_3BO_3 بوریک اسید	2.86 g.L^{-1}	**1 ml.L^{-1}**
$MnCl_2.4H_2O$ منگنز کلرید ۴ آبه	1.82 g.L^{-1}	**1 ml.L^{-1}**
$ZnSO_4.7H_2O$ سولفات روی۷ آبه	0.22 g.L^{-1}	**1 ml.L^{-1}**
$CuSO_4.5H_2O$ سولفات مس	0.09 g.L^{-1}	**1 ml.L^{-1}**
$NaMoO_3$ مولیبدات سدیم	0.01 g.L^{-1}	**1 ml.L^{-1}**
Fe-DTPA کلات آهن		**50.0 ml.L^{-1}**

در طول آزمایش میانگین دمای روزانه گلخانه ۲۵-۲۲ و میانگین دمای شبانه ۱۸- ۱۶ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی۷۰-۶۰ درصد و شدت نور ۶۰۰ میکرومول بر متر مربع در ثانیه بود. در زمان شروع گلدهی اندازه‌گیری صفات مختلف به‌منظور ارزیابی رشد و عملکرد گونه‌های نعناع مورد مطالعه انجام شد. ویژگی‌های مورد بررسی شامل نسبت برگ به ساقه، تعداد برگ، ارتفاع بوته، طول میانگره چهارم، قطر ساقه، تعداد ساقه اصلی و فرعی، تعداد گره و تعداد استولون اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری سطح برگ میانگین یک برگ از گره سوم هر گیاه جدا شد (ده برگ از هر تیمار) و توسط دستگاه سطح برگ‌سنج (دلتا تی اسکن) اندازه‌گیری شد. وزن تر و خشک برگ، وزن تر و خشک ساقه، وزن تر و خشک استولون، وزن تر و خشک ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن خشک کل بوته نیز اندازه‌گیری شدند. حجم ریشه با استفاده از استوانه مدرج اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنویید، ۰/۱ گرم از بافت تر برگ گیاه در داخل هاون چینی با ده میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد سابیده شد و پس از سانتریفیوژ (۴۰۰۰ دور در ۱۵ دقیقه) محلول رویی با کاغذ صافی صاف شد، سپس بر اساس روش لیچتنتالر (Lightenthaler, 1987) میزان کلروفیل و کاروتنوئید اندازه‌گیری شد. طبق این روش با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Mapada UV-1800, Shanghai, P.R. China) مقدار جذب نوری محلول‌ها در طول‌موج‌های ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر قرائت و مقدار کلروفیل a و b و کارتنویید بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ بر اساس رابطه‌های ۱ تا ۴ محاسبه گردید. استون به عنوان محلول شاهد برای تنظیم صفر جذب نوری دستگاه استفاده گردید.

رابطه ۱)

$$\text{Chlorophyll a (FW)} = (19.3\times A663 - 0.86\times A645)\ V/100W$$

رابطه ۲)

$$\text{Chlorophyll b (FW)}=(19.3\times A645-3.6\times A663)\ V/100W$$

رابطه ۳)

$$\text{Chl T (FW)} =\text{Chl.a} + \text{Chl.b}$$

رابطه ۴)

$$\text{Carotenoids (FW)}=(100\times A470-3.27\times \text{Chl. A})-104\ (\text{Chl. B})/227$$

محتوای نسبی آب برگ طبق روش ریچی و همکاران (Ritchie and Nguyen, 1990) اندازه‌گیری شد. برای این منظور برگ‌های جوان توسعه یافته در اوایل صبح نمونه‌برداری و وزن تر (FW) آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها در آب مقطر قرار گرفته و پس از ۲۴ ساعت وزن اشباع برگ‌ها (SW) اندازه‌گیری گردید. در ادامه برگ‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و وزن خشک (DW) آن‌ها محاسبه گردید. با قرار دادن اعداد حاصل از توز دذلززین با ترازوی دیجیتالی در رابطه شماره ۵ میزان محتوای نسبی آب برگ به‌دست آمد.

رابطه ۵)

$$\text{RWC \%} = [(\text{FW-DW}) / (\text{SW-DW})] \times 100$$

شاخص کلروفیل (اسپد) با دستگاه مدل (Cl-01) قرائت گردید. در ادامه فاکتورهای مرتبط با تبادلات گازی شامل VPD، تعرق،

فتوسنتز و دی‌اکسیدکربن زیر روزنه‌ای در برگ‌های بالغ بالایی توسط دستگاه اندازه‌گیری تبادلات گازی پروتابل ساخت کشور آمریکا (CI-340,Handheld Photosynthesis system) اندازه‌گیری شد. اساس کار این دستگاه بر اساس میزان دی‌اکسیدکربن مصرفی می باشد. استخراج اسانس به روش تقطیر با آب [1] و توسط دستگاه کلونجر صورت گرفت. به‌منظور استخراج اسانس، ۱۵ گرم از برگ‌های خشک شده به‌خوبی خرد و در بالن کلونجر بمدت ۳ ساعت حرارت داده شدند. اسانس به‌دست آمده توسط سولفات سدیم خشک، آب‌گیری شد و به‌دقت توزین گردید. درصد اسانس نمونه‌ها براساس وزن اسانس بدست آمده از ۱۰۰ گرم نمونه گیاهی (وزنی/وزنی) محاسبه گردید (Mumivand *et al.*, 2021). پس از برداشت چین اول گیاهان و به‌منظور ارزیابی بهتر این گونه‌ها در سیستم کشت هواکشت، تمام صفات مورد مطالعه حدود دو ماه بعد از برداشت اول اندازه‌گیری شدند. بنابراین مطالعه حاضر با ارزیابی صفات مختلف در دو چین صورت گرفت.

تجزیه واریانس داده‌ها بر اساس طرح آزمایشی کرت‌های خرد شده در زمان (نوع گونه به عنوان فاکتور اصلی و چین یا برداشت به عنوان فاکتور فرعی) با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت گرفت. پنج گونه‌ی نعناع به‌عنوان عامل اصلی و برداشت (چین اول و دوم) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. مقایسه میانگین تیمارها نیز با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

صفات مورفولوژی و زی‌توده گیاهی

نتایج تجزیه واریانس صفات مورفولوژی و زی‌توده گیاهی در دو زمان برداشت گونه‌های نعناع جدول ۲ نشان داد، اثر گونه بر صفات نسبت برگ به ساقه، تعداد برگ، سطح برگ وزن تر و خشک برگ، وزن تر و خشک ساقه، وزن تر و خشک استولون، حجم ریشه، وزن تر و خشک ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن خشک کل بوته در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. صفات سطح برگ، وزن تر و خشک برگ، حجم ریشه، وزن تر و خشک ریشه، وزن تر اندام هوایی و وزن خشک کل بوته نیز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر چین قرار گرفتند. اثر متقابل گونه و برداشت نیز بر صفات تعداد برگ، حجم ریشه و وزن خشک ریشه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

براساس نتایج مقایسه میانگین اثر ساده گونه، بیش‌ترین سطح برگ (۳۲/۹۹ سانتی‌متر مربع)، وزن تر برگ (۱۵۱/۱۱ گرم در بوته)، وزن خشک برگ (۲۴/۱۳ گرم در بوته)، وزن تر ساقه (۱۶۶/۲۵ گرم در بوته)، وزن خشک ساقه (۲۲/۶۹ گرم در بوته)، وزن تر اندام هوایی (۳۵۸/۴۹ گرم در بوته)، وزن خشک اندام هوایی (۵۲/۰۲ گرم در بوته)، وزن خشک کل بوته (۵۹/۲۶ گرم در بوته) مربوط به نعناع آبی بود. بیش‌ترین وزن تر استولون در دو گونه نعناع آبی و نعناع فلفلی (به ترتیب با ۴۱/۱۲ و ۳۴/۲۳ گرم در بوته) و بیش‌ترین وزن خشک استولون نیز در نعناع آبی و نعناع فلفلی (به ترتیب با ۵/۸۷ و ۳/۹۶ گرم در بوته) دیده شد. نعناع فلفلی بیش‌ترین وزن تر ریشه (۱۶۹/۴ گرم در بوته) و نعناع سیب و نعناع سبز (به ترتیب با ۳۶۸ /۱ و ۱/۳۶۴) بیش‌ترین نسبت برگ به ساقه را دارا بودند. کم‌ترین نسبت برگ به ساقه (۰/۵۶۳) مربوط به نعناع پونه بود. کم‌ترین وزن تر و خشک برگ، وزن تر و خشک ساقه، وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک کل بوته به نعناع سبز و نعناع سیب تعلق داشت. علاوه بر این کم‌ترین وزن تر ریشه (۲۸/۰۶ گرم در بوته) و وزن تر اندام هوایی (۸۶/۶۲ گرم در بوته) نیز در نعناع سیب به دست آمد (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین اثر برداشت نشان‌دهنده برتری چین دوم نسبت به چین اول در مورد برخی صفات مورد مطالعه بود. به نحوی‌که بالاترین وزن تر برگ (۸۶/۵۲ گرم در بوته)، وزن خشک برگ (۱۳/۹۴ گرم در بوته)، وزن تر ریشه (۱۰۲/۹۷ گرم در بوته)، وزن تر اندام هوایی (۱۹۸/۲۹ گرم در بوته)، وزن خشک کل بوته (۳۶/۳۷ گرم در بوته) و سطح برگ (۲۲/۳۷سانتی‌متر مربع) در چین دوم مشاهده شد (جدول ۴).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و برداشت نشان داد که بیش‌ترین تعداد برگ در بوته (۱۲۲۰) نیز در چین دوم نعناع آبی مشاهده گردید. با این وجود در چین اول بین گونه‌های مختلف نعناع از نظر تعداد برگ اختلافی مشاهده نشد. بیش‌ترین حجم ریشه (۲۹۸/۳۳میلی‌لیتر) و وزن خشک ریشه (۱۱/۸۵ گرم در بوته) مربوط به چین دوم نعناع فلفلی بود که با سایر گونه‌های نعناع در هر دو چین اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۵).

در حال حاضر سیستم‌های تولید بدون خاک به‌دلیل تولید محصولات بیشتر و کارایی بالای آب و مواد مغذی در سطح جهانی شناخته شده‌اند. کرناهان (Kernahan, 2016) گزارش کرد که سیستم هواکشت کنترل بهتری روی رشد گیاه و در دسترس بودن مواد مغذی فراهم می‌کند و از بیماری‌های مختلف و پوسیدگی ریشه گیاه جلوگیری می‌کند. سیستم هواکشت هوادهی ریشه را بهینه می‌کند، که یک عامل اصلی منجر به افزایش عملکرد در مقایسه با سیستم‌های تولید کلاسیک است (Asao, 2012). اثرات مثبت کشت هواکشت در بسیاری از گونه‌های گیاهی مانند گیاهان دارویی گزارش شده است (Hayden, 2006).

1- water distillation

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورفولوژی و زی‌توده گیاهی گونه‌های نعناع در دو زمان برداشت

Table 2- ANOVA for the morphological traits and plant biomass of mint species in two harvest time

		Mean squares میانگین مربعات										
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	ارتفاع گیاه Plant height	طول میانگره Internode length	تعداد گره No. of node	Es تعداد شاخه اصلی و فرعی No. of main and secondary branch	قطر ساقه Stem diameter	تعداد استولون Stolon number	تعداد برگ Leaf No.	برگ / ساقه Leaf / stem	سطح برگ Leaf area	وزن تر برگ Leaf fresh weight	وزن خشک برگ Leaf dry weight
بلوک Rep	2	169.23^{ns}	1.68^{ns}	0.008^{ns}	12.4^{ns}	2.01^{ns}	31.52^{ns}	14654.5^{ns}	0.024^{ns}	2.53^{ns}	233.47^{ns}	0.595^{ns}
گونه Species	4	208.52^{ns}	2.48^{ns}	3.40^{ns}	98.38^{ns}	4.61^{ns}	158.02^{ns}	89346.85^{*}	0.662^{**}	312.93^{**}	10876.44^{**}	245.07^{**}
بلوک × گونه Rep × Species	8	62.29	0.8	3.03	32.33	1.26	49.75	20313.77	0.043	1.43	107.95	1.54
زمان برداشت Harvest time	1	29^{ns}	0.007^{ns}	1.63^{ns}	10.2^{ns}	0.066^{ns}	10.2^{ns}	23885.4^{ns}	0.019^{ns}	7.79^{**}	246.61^{**}	3.92^{*}
زمان برداشت × گونه Harvest time × Species	4	56.48^{ns}	1.08^{ns}	2.75^{ns}	54.35^{ns}	1.82^{ns}	37.77^{ns}	42665.05^{*}	0.003^{ns}	0.482^{ns}	18.91^{ns}	0.370^{ns}
خطا Error	8	80.11	0.922	3.76	38.40	1.02	21.44	8012.07	0.005	0.574	18.41	0.49
ضریب تغییرات C.V (%)	-	15.4	20.41	14.8	21.7	22.75	81.96	10.44	6.85	3.38	4.96	5.04

**، *و ns: به‌ترتیب نشان دهنده‌ی معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم تأثیر معنی‌دار هستند.

**, * and ns: significant at the 1% and 5% of probability levels and non-significant, respectively.

دامه جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورفولوژی و زی‌توده گیاهی گونه‌های نعناع در دو زمان برداشت

Continued Table 2- ANOVA for the morphological traits and plant biomass of mint species in two harvest time

		میانگین مربعات Mean squares									
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	وزن تر ساقه Stem fresh weight	وزن خشک ساقه Stem dry weight	وزن تر استولون Stolon fresh weight	وزن خشک استولون Stolon dry weight	حجم ریشه Root volume	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن تر اندام هوایی گیاه Fresh weight of aerial parts	وزن خشک اندام هوایی گیاه Dry weight of aerial parts	وزن خشک کل بوته Dry weight of plant
بلوک Rep	2	$09^{ns}.2746$	18.97^{ns}	502.45^{ns}	7.56^{ns}	139.6^{ns}	41.72^{ns}	0.217^{ns}	6913.87^{ns}	48.35^{ns}	53.88^{ns}
گونه Species	4	$19^{**}.16480$	353.33^{**}	2484.54^{*}	36.70^{*}	33908.21^{**}	18046.63^{**}	66.46^{**}	70507.06^{**}	1378.79^{**}	1768.29^{**}
بلوک × گونه Rep × Species	8	788.88	10.48	577.72	6.67	125.14	47.65	0.26	2452.21	32.23	35.36
زمان برداشت Harvest time	1	140.07^{ns}	0.88^{ns}	9.13^{ns}	0.007^{ns}	6720.03^{**}	2992^{**}	14.11^{**}	933.98^{*}	8.02^{ns}	43.44^{**}
زمان برداشت × گونه Harvest time × Species	4	89.22^{ns}	0.544^{ns}	10.08^{ns}	0.098^{ns}	324.11^{**}	68.34^{ns}	0.381^{*}	258.41^{ns}	1.61^{ns}	3.15^{ns}
خطا Error	8	115.61	1.68	70.82	1.28	35.44	20.28	0.094	124.57	2.11	1.95
ضریب تغییرات C.V (%)	-	11.17	9.17	54.11	59.22	3.26	4.37	4.81	5.62	4.84	3.84

**، *و ns: به‌ترتیب نشان دهنده‌ی معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم تأثیر معنی‌دار هستند.

**, * and ns: significant at the 1% and 5% of probability levels and non-significant, respectively.

جدول ۳- صفات مورفولوژی و زی‌توده گیاهی در گونه‌های نعناع

Table 3- The morphological traits and plant biomass in mint species

گونه Species	برگ / ساقه Leaf/stem	سطح برگ Leaf area (cm^{2})	وزن تر برگ Leaf fresh weight (g.plant^{-1})	وزن خشک برگ Leaf dry weight (g.plant^{-1})	وزن تر ساقه Stem fresh weight (g.plant^{-1})	وزن خشک ساقه Stem dry weight (g.plant^{-1})	وزن تر استولون Stolon fresh weight (g.plant^{-1})	وزن خشک استولون Stolon dry weight (g.plant^{-1})	وزن تر ساقه Root fresh weight (g.plant^{-1})	وزن تر اندام هوایی گیاه Fresh weight of aerial parts (g.plant^{-1})	وزن خشک اندام هوایی گیاه Dry weight of aerial parts (g.plant^{-1})	وزن خشک بوته Dry weight of plant (g.plant^{-1})
M. aquatica نعناع آبی	1.067^{b}	32.99^{a}	151.11^{a}	24.13^{a}	166.25^{a}	22.69^{a}	41.12^{a}	5.87^{a}	118.63^{c}	358.49^{a}	52.02^{a}	59.26^{a}
M. pulegium نعناع پونه	0.563^{c}	18.19^{c}	60.12^{c}	11.72^{c}	121.49^{b}	21.14^{a}	1.63^{b}	0.248^{b}	69.91^{d}	183.24^{bc}	33.11^{b}	38.72^{b}
M. picata نعناع سبز	1.364^{a}	16.58^{c}	59.26^{c}	9.49^{d}	58.63^{c}	7.13^{c}	0.10^{b}	0.001^{b}	128.85^{b}	117.99^{cd}	16.5^{c}	22.23^{c}
M. suaveolens نعناع سیب	1.368^{a}	17.32^{c}	52.95^{c}	8.41^{d}	32.97^{c}	6.25^{c}	0.68^{b}	0.152^{b}	28.06^{e}	86.62^{d}	14.81^{c}	16.89^{c}
M. piperita نعناع فلفلی	1.121^{ab}	26.76^{b}	109.15^{b}	15.95^{b}	101.77^{b}	13.53^{b}	34.23^{a}	3.96^{a}	169.4^{a}	245.16^{b}	33.45^{b}	44.74^{b}

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هرستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with similar letters in each column, are not significantly different based on LSD test at 5% of probability level.

جدول ٤- اثر زمان برداشت (اول و دوم) بر رشد، عملکرد و صفات مورفولوژی نعناع

Table 4- The effect of harvest time (first and second) on growth, yield and morphological traits of mint

زمان برداشت Harvest time	وزن تر برگ Leaf fresh weight (g.plant^{-1})	وزن خشک برگ Leaf dry weight (g.plant^{-1})	وزن تر ریشه Root fresh weight (g.plant^{-1})	وزن تر اندام هوایی گیاه Fresh weight of aerial parts (g.plant^{-1})	وزن خشک بوته Dry weight of plant (g.plant^{-1})	سطح برگ Leaf area (cm^{2})
برداشت اول First harvest	83.65^{b}	13.58^{b}	92.98^{b}	192.71^{b}	35.17^{b}	21.86^{b}
برداشت دوم Second harvest	89.39^{a}	14.3^{a}	112.96^{a}	203.87^{a}	37.57^{a}	22.88^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هرستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with similar letters in each column, are not significantly different based on LSD test at 5% of probability level.

چیانتگاه و همکاران (Chiipanthenga *et al.*, 2012) نشان دادند که رشد، متابولیسم و عملکرد غده در سیب زمینی در سیستم هواکشت ۱۰ برابر بیشتر از کشت خاکی بود. هایکوسا و همکاران (Hikosaka *et al.*, 2015) بهبود قابل توجه خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه مانند افزایش سرعت فتوسنتز و هدایت روزنه را در کاهو (*Lactuca sativa* L.) تحت سیستم هواکشت مشاهده کردند. پاگلیارولو و همکاران (Pagliarulo *et al.*, 2004) افزایش عملکرد اندام هوایی و ریشه گیاه گزنه *(Urtica dioica)* تولید شده در شرایط هواکشت را نشان دادند. هایدن (Hayden, 2006) گزارش کرد که سیستم هواکشت گزینه مفیدی برای کشت گیاهان دارویی، ریزوم‌ها و محصولات ریشه‌ای است. در مطالعه‌ای که به منظور بررسی امکان تولید سنبل الطیب (*Valeriana officinalis* L.) در سیستم هواکشت انجام گرفت مشخص گردید که رشد و عملکرد گیاه از نظر ارتفاع بوته، طول ریشه، تعداد برگ، حجم ریشه و وزن خشک شاخه و ریشه قابل توجه بود (Rostami and Movahedi, 2016). نتایج مطالعه مشابه دیگری نشان داد که سیستم هواکشت منجر به افزایش طول ساقه، طول ریشه، قطر ساقه، عملکرد و کیفیت ریز غده‌های سیب‌زمینی شد (Movahedi *et al*, 2012). گیاهان دارویی سرخارگل، پنیرباد و کاسنی نیز ارتفاع بوته، طول ریشه، تعداد برگ، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی و عملکرد بالایی سیستم هواکشت تولید کردند (Movahedi and Rostami, 2020). بوهم و پینکر (Böhme and Pinker, 2013) نیز کشت گیاهان دارویی ریحان، ریحان مقدس، پریلا و بالم ویتنامی را به دلیل تولید زی‌توده گیاهی، سطح برگ و تعداد ساقه زیاد در سیستم هواکشت

توصیه کردند.

جدول ۵- اثر متقابل گونه × زمان برداشت بر رشد، عملکرد و صفات مورفولوژی نعناع

Table 5- The interaction effect of species ×harvest time on growth, yield and morphological traits of mint

زمان برداشت Harvest time	گونه Species	تعداد برگ Leaf No.	حجم ریشه Root volume (ml)	وزن خشک ریشه Root dry weight (g.plant^{-1})
برداشت اول First harvest	نعناع آبی *M. aquatica*	910.5^{b}	210.33^{c}	6.23^{d}
	نعناع پونه *M. pulegium*	916.66^{b}	168.33^{e}	4.84^{e}
	نعناع سبز *M. spicata*	729.66^{b}	149.33^{f}	4.98^{e}
	نعناع سیب *M. suaveolens*	839.16^{b}	62^{h}	1.74^{f}
	نعناع فلفلی *M. piperita*	745.83^{b}	245.66^{b}	10.71^{b}
برداشت دوم Second harvest	نعناع آبی *M. aquatica*	1220^{a}	246^{b}	8.25^{c}
	نعناع پونه *M. pulegium*	760^{b}	191.33^{d}	6.39^{d}
	نعناع سبز *M. spicata*	777.33^{b}	164.33^{ef}	6.47^{d}
	نعناع سیب *M. suaveolens*	836.66^{b}	85.33^{g}	2.41^{f}
	نعناع فلفلی *M. piperita*	830^{b}	298.33^{a}	11.85^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هرستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with similar letters in each column, are not significantly different based on LSD test at 5% of probability level.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که قابلیت کشت گونه‌های مختلف نعناع در سیستم هواکشت وجود دارد و از نظر رشد و عملکرد زی‌توده نتایج خوبی در همه گونه‌ها به‌دست آمد. با این وجود نعناع آبی از لحاظ اغلب صفات مهم مورفولوژی وزی‌توده گیاهی (تعداد برگ، سطح برگ، وزن تر و خشک برگ، وزن تر و خشک ساقه، وزن تر اندام هوایی و وزن خشک کل بوته) بهتر از دیگر گونه‌ها نشان داد. رشد ریشه‌های نعناع فلفلی (وزن تر و حجم ریشه) در سیستم هواکشت بیشتر از سایر گونه‌ها بود. نعناع فلفلی از لحاظ وزن تر و خشک برگ و استولون نیز بعد از نعناع آبی در بین سایر گونه‌ها رشد بهتری داشت. برخلاف این، نعناع سیب و نعناع سبز کم‌ترین میزان رشد و عملکرد را دارا بودند. با این وجود دو گونه نعناع سیب و نعناع سبز از نسبت برگ به ساقه بالاتری برخوردار بودند. اما پونه بالاترین وزن ساقه را در بین سایر گونه‌ها داشت که نشان از رشد چوبی و خشبی این گونه دارد. یافته‌های ما در این مطالعه قابلیت کشت مؤثر گونه‌های دارویی و سبزی نعناع را در سیستم هواکشت نشان داد. امروزه بسیاری از محصولات گیاهی مانند سیب زمینی، گوجه فرنگی، کاهو و برخی از سبزیجات برگی به صورت تجاری در سیستم هوازی کشت می‌شوند (Gopinath *et al.*, 2017). لو و همکاران (Luo *et al.*, 2009) بیان کردند که هواکشت روشی بسیار موفق در تولید کاهو در مناطق استوایی می‌باشد. ساها و همکاران (Saha *et al.*, 2016) با مقایسه چند رقم ریحان در سیستم کشت آکواپونیک عنوان کردند که گیاهان کشت شده در سیستم آکواپونیک رشد و عملکرد بالایی داشتند. این محققان رشد و عملکرد متفاوت ارقام مورد مطالعه را در شرایط آکواپونیک گزارش کردند. نتایج آن‌ها حاکی از وجود تفاوت بین ارقام ریحان از لحاظ وزن تر، وزن خشک، تعداد گره، ارتفاع بوته، طول میانگره و تعداد شاخه بود که علت آن را وجود تفاوت ژنتیکی بین رقم‌ها بیان کردند. مقایسه عملکرد محصول در سبزیجاتی مانند ریحان (*Ocimum basilicum*)، چغندر برگی (*Beta vulgaris* subsp. vulgaris)، جعفری (*Petroselinum crispum*) و کلم پیچ (*Brassica oleracea* var. capitata) و محصولات میوه‌ای مانند فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum*)، گوجه گیلاسی (*Solanum lycopersicum* var. cerasiforme)، خیار (*Cucumis*

sativus) و کدو سبز (*Cucurbita pepo*) در سیستم هواکشت انجام شد. در این مطالعه همه گیاهان کشت شده در سیستم هواکشت رشد و عملکرد بالایی داشتند. میانگین افزایش عملکرد برای ریحان، برگ چغندر، کلم پیچ، جعفری، فلفل دلمه‌ای، گوجه گیلاسی، خیار و کدو به ترتیب حدود ۱۹٪، ۸٪، ۶۵٪، ۲۱٪، ۵۳٪، ۳۵٪، ۷٪ و ۵۰٪ ثبت شد (Chandra *et al*., 2014). مرکز بین‌المللی سیب‌زمینی (CIP) مطالعه‌ای با هدف ارزیابی رشد گیاه و تولید مینی‌غده سه رقم سیب زمینی در سیستم هواکشت تحت شرایط گلخانه انجام داد. نتایج نشان داد که سیستم هواکشت یک گزینه مناسب فناوری برای تولید غده سیب‌زمینی است. تفاوت معنی‌داری بین ارقام مختلف از نظر تعداد روز تا غده‌سازی، ارتفاع بوته و عملکرد غده مشاهده شد. بیش‌ترین تعداد غده در هر گیاه در رقم Chucmarina ثبت شد. بالاترین عملکرد غده در هر گیاه نیز در رقم Chucmarina مشاهده شد (Mateus-Rodríguez *et al*., 2011).

در مطالعه حاضر در مقایسه بین دو مرحله برداشت نیز مشخص گردید که چین دوم در مورد بسیاری از صفات نسبت به چین اول برتری داشت. برای مثال وزن تر و خشک برگ، وزن تر ریشه، وزن تر اندام هوایی، وزن خشک کل بوته، سطح برگ، محتوای نسبی آب و فتوسنتز در چین دوم بالاتر بود نتایج ما در این بخش با نتایج راکوسی (Rakocy *et al*., 2004) در کشت آکواپونیک ریحان مطابقت داشت. این محقق گزارش کرد که عملکرد ریحان در برداشت دوم دو برابر بیشتر از برداشت اول بود. در مطالعه نوشکام و همکاران (Nooshkam *et al*., 2017) نیز رشد و عملکرد دو گونه مرزه خوزستانی و رشینگری در چین دوم بالاتر از چین اول بود. بوهم و پینکر (Böhme and Pinker, 2013) نشان دادند که ریحان (*Ocimum basilicum*) و نعناع بنفش یا ریحان چینی (*Perilla frutescens*) در سیستم هواکشت بیش‌ترین طول ساقه، سطح برگ و عملکرد زی‌توده را در تراکم‌های بالا نشان دادند.

صفات فیزیولوژی و بیوشیمیایی

نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیولوژی و بیوشیمیایی (جدول ۶) نشان داد، اثر گونه بر صفات کلروفیل a، کلروفیل کل، محتوای نسبی آب، کارتنوئید، شاخص کلروفیل، فتوسنتز، دی‌اکسیدکربن زیر روزنه، درصد اسانس و عملکرد اسانس معنی‌دار گردید. صفات کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، محتوای نسبی آب، کاروتنوئید، شاخص کلروفیل، فتوسنتز، درصد اسانس و عملکرد اسانس نیز به صورت معنی‌داری تحت تأثیر برداشت قرار گرفتند. اثر متقابل گونه و برداشت در مورد صفات کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، شاخص کلروفیل، دی‌اکسیدکربن زیر روزنه، درصد اسانس و عملکرد اسانس معنی‌دار شد (جدول ۶).

جدول ٦- تجزیه واریانس برخی صفات فیزیولوژی و بیوشیمیایی نعناع در دو زمان برداشت

Table 6- ANOVA for some physiological and biochemical traits of mint in two harvest time

		میانگین مربعات Mean squares											
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	کلروفیلa Chlorophyll a	کلروفیلb Chlorophyll b	کلروفیل کل Total Chlorophyll	محتوای نسبی آب Relative water content	کارتنویید Carotenoid	شاخص اسپد Spad	اختلاف فشار بخار هوا VPD	تعرق Evaporation	فتوسنتز Photosynthesis	دی-اکسیدکربن زیر روزنه Carbon dioxide	بازده اسانس Essential oil content	عملکرد اسانس Essential oil yield
بلوک Rep	2	0.009^{ns}	9.66^{ns}	8.15^{ns}	1.62^{ns}	0.003^{ns}	0.562^{ns}	0.147^{ns}	8.716*	84.78^{ns}	653.15^{ns}	0.0001^{ns}	0.141^{ns}
Species گونه	4	221.46**	25.39^{ns}	349.52**	210.72**	6.74**	47.86**	0.342^{ns}	4.38^{ns}	152.62*	8091.22**	0.1334**	2.596**
بلوک × گونه Rep × Species	8	0.427	15.72	16.44	6.66	0.571	1.54	0.304	1.23	24.83	651.64	0.0009	0.033
برداشت Harvest	1	342.32**	61.94**	705.19**	68.43*	0.472^{ns}	4.6**	0.025^{ns}	0.108^{ns}	12.22**	1241.63^{ns}	0.0075**	0.162**
برداشت × گونه Harvest × Species	4	2.56*	53.49**	61.55**	5.05^{ns}	0.088^{ns}	0.842*	0.12^{ns}	0.057^{ns}	1.91^{ns}	15289.89**	0.0012**	0.032*
خطا Error	8	0.645	4.58	6.48	8.43	0.308	0.173	0.122	0.16	0.882	2053.04	0.0001	0.0051
ضریب تغییرات C.V (%)	-	3.83	20.5	8.11	3.33	13.44	4	26.79	7.64	3.96	9.67	5.91	4.84

**، *و ns: به‌ترتیب نشان دهنده‌ی معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم تأثیر معنی‌دار هستند.

**, * and ns: significant at the 1% and 5% of probability levels and non-significant, respectively.

نتایج مقایسه میانگین اثر گونه نشان داد بیش‌ترین محتوای نسبی آب مربوط به نعناع آبی و نعناع سبز (به ترتیب با ۹۲/۴۹ و ۹۲/۰۲

درصد) و کم‌ترین آن مربوط به گونه نعناع پونه (۷۷/۸۸ درصد) بود. بیش‌ترین میزان کارتنوئید (۵/۶۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در نعناع فلفلی و بیش‌ترین میزان فتوسنتز در نعناع پونه (۳۲/۳۹ میکرومول دی اکسیدکربن بر مترمربع بر ثانیه) مشاهده شد (جدول ۷).

نتایج مقایسه میانگین اثر برداشت نشان داد میزان محتوای نسبی آب و فتوسنتز (به ترتیب با ۸۷/۱۱ درصد و ۲۳/۷ میکرومول دی اکسید کربن بر مترمربع بر ثانیه) در چین دوم بالاتر از چین اول بود (شکل ۱).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و زمان برداشت نشان داد که بیش‌ترین میزان کلروفیل a مربوط به چین دوم و گونه‌های نعناع آبی و نعناع فلفلی (به‌ترتیب با ۳۰/۸۸ و ۲۹/۸۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بوته) بود که اختلاف معنی‌داری با بقیه گونه‌ها و در هر دو چین داشت. با این وجود بیش‌ترین میزان کلروفیل b (۱۷/۸۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بوته) مربوط به چین دوم نعناع سبز بود. همچنین بیش‌ترین کلروفیل کل (۴۵/۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بوته) در چین دوم نعناع فلفلی مشاهده گردید که اختلاف معنی‌داری با بقیه گونه‌ها و در هر دو چین داشت. بیش‌ترین میزان اسپد (۳۱/۰۴-۱۴/۱۴ اسپون) به‌ترتیب مربوط به چین دوم و اول نعناع آبی بود که اختلاف معنی‌داری با بقیه گونه‌ها و در هر دو چین داشت. بیش‌ترین میزان دی‌اکسید کربن زیر روزنه (۶۲۰ میکرومول بر مول) مربوط به چین اول نعناع پونه بود که اختلاف معنی‌داری با بقیه گونه‌ها و در هر دو چین داشت. به طور کلی میزان کلروفیل و شاخص کلروفیل در همه گونه‌ها در چین دوم بالاتر از چین اول بود. بیش‌ترین بازده اسانس (به‌ترتیب با ۲/۴۰۶ و ۲/۳۶۱ درصد) مربوط به برداشت اول و دوم نعناع فلفلی بود. با این وجود، بالاترین عملکرد اسانس (۰/۴۲۰ گرم در بوته) در برداشت دوم نعناع آبی به‌دست آمد (جدول ۸).

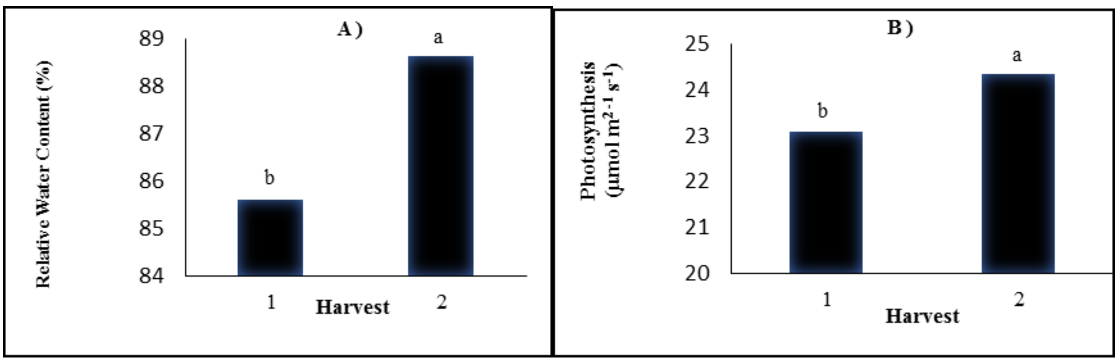
جدول ۷- برخی صفات فیزیولوژی و بیوشیمیایی در گونه‌های نعناع

Table 7- Some physiological and biochemical traits of mint species

گونه **Species**	محتوای نسبی آب **Relative water content (%)**	کارتنوئید **Carotenoid ($mg.g^{-1}$ FW)**	فتوسنتز **Photosynthesis ($\mu mol.m^{-2} s^{-1}$)**
نعناع آبی *M. aquatica*	92.49[a]	4.43[b]	23.45[b]
نعناع پونه *M. pulegium*	77.88[c]	3.01[d]	32.39[a]
نعناع سبز *M. spicata*	92.02[a]	4.21[cb]	19.62[b]
نعناع سیب *M. suaveolens*	85.7[b]	3.29[cd]	21.84[b]
نعناع فلفلی *M. piperita*	87.5[b]	5.69[a]	21.23[b]

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هرستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with similar letters in each column, are not significantly different based on LSD test at 5% of probability level.



شکل ۱- اثر زمان برداشت بر (A) محتوای نسبی آب و (B) میزان فتوسنتز در نعناع

Figure 1- The effect of the harvest time on (A) the relative water content and (B) photosynthetic rate of mint (LSD, $p \leq 0.05$)

جدول ۸- اثر متقابل گونه × زمان برداشت بر برخی صفات فیزیولوژی و بیوشیمیایی گیاه نعناع

Table 8- The interaction effect of species ×harvest time on some physiological and biochemical traits of mint plant

زمان برداشت Harvest time	گونه Species	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g^{-1} FW)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg.g^{-1} FW)	کلروفیل کل Total Chlorophyll (mg.g^{-1} FW)	شاخص اسپد Spad	دی‌اکسیدکربن زیر روزنه Carbon dioxide (µmol.mol^{-1})	بازده اسانس Essential oil content (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield (g.plant^{-1})
برداشت اول First harvest	*M. aquatica* نعناع آبی	23^{c}	11.7^{ab}	34.36^{bc}	14.04^{a}	413.93^{b}	1.423^{cd}	0.339^{c}
	M. pulegium نعناع پونه	12.5^{f}	7.65^{c}	20.15^{e}	9.4^{cd}	620^{a}	1.366^{d}	0.152^{e}
	M. spicata نعناع سبز	19.27^{d}	6.19^{c}	25.46^{de}	8.17^{de}	404.73^{b}	1.367^{d}	0.126^{e}
	.M suaveolens نعناع سیب	11.18^{g}	9.55^{bc}	20.73^{e}	7.05^{e}	463.03^{b}	0.484^{e}	0.039^{f}
	M. piperita نعناع فلفلی	21.95^{c}	9.91^{bc}	31.86^{cd}	11.34^{b}	471.93^{b}	2.406^{a}	0.367^{bc}
برداشت دوم Second harvest	*M. aquatica* نعناع آبی	30.88^{a}	8.29^{c}	39.17^{ab}	14.31^{a}	455.56^{b}	1.724^{b}	0.420^{a}
	M. pulegium نعناع پونه	17.68^{e}	7.89^{c}	25.57^{de}	9.85^{bc}	433.76^{b}	1.461^{cd}	0.178^{d}
	M. spicata نعناع سبز	26.55^{b}	17.84^{a}	44.39^{a}	8.6^{cde}	476.4^{b}	1.658^{bc}	0.158^{de}
	.M suaveolens نعناع سیب	16.71^{e}	9.4^{bc}	26.11^{de}	7.72^{e}	464.93^{b}	0.578^{e}	0.048^{f}
	M. piperita نعناع فلفلی	29.85^{a}	15.95^{ab}	45.8^{a}	13.44^{a}	478.63^{b}	2.361^{a}	0.379^{b}

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هرستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with similar letters in each column, are not significantly different based on LSD test at 5% of probability level.

در مطالعه حاضر بین گونه‌های نعناع از نظر صفات فیزیولوژی و بیوشیمیایی تفاوت قابل توجهی وجود داشت. بیش‌ترین محتوای نسبی آب مربوط به نعناع آبی و نعناع سبز بود. بیش‌ترین میزان کاروتنوئید و کلروفیل به نعناع فلفلی تعلق داشت و بیش‌ترین میزان فتوسنتز و CO_2 زیر روزنه‌ای در پونه مشاهده شد که نشان‌دهنده‌ی تنوع بین گونه‌های مورد مطالعه است. تفاوت‌های موجود بین گونه‌های مختلف نعناع ناشی از تفاوت‌های ژنتیکی بین آن‌ها است. جی و کونگ (Jie and Kong, 1998) دریافتند که رشد شاخه و ریشه و میزان فتوسنتز سه رقم کاهو در شرایط هواکشت درون گلخانه بالاتر از کشت خاکی بود و بین ارقام مورد مطالعه نیز تفاوت مشاهده گردید. کشت شش گونه گیاهی کلم چینی (*Brasica oleracea* var. chinensis)، میزونا (*B. rapa* nipposinica)، برگ چغندر (*B. vulgaris* subsp. vulgaris)، ریحان (*O. basilicum*)، کاهو (*L. sativa*)، پاک چوی (*B. rapa* subsp. Chinensis)، چیا (*Salvia hispanica*) و گوجه گیلاسی (*S. lycopersicum* var. cerasiforme) نیز در سیستم آکواپونیک نتایج متفاوتی را از نظر عملکرد و مقدار اسپد (محتوای کلروفیل) نشان داد. پارامترهای رشد گیاه به طور کلی تحت تاثیر نوع محصول قرار گرفت (Yang and Kim, 2019). هوادهی مناسب ریشه در سیستم هواکشت، رشد سریع‌تر ریشه‌ها و تولید ریشه‌های فعال‌تر را به همراه دارد. در نتیجه جذب بیشتر عناصر غذایی به دلیل وجود سیستم ریشه‌ای قوی منجر به بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه می‌گردد. افزایش میزان رنگیزه‌های گیاهی و فتوسنتز نیز باعث رشد بیشتر اندام هوایی، افزایش سطح برگ و عملکرد گیاه می‌شود (Movahedi and Rostam, 2020). کشت گیاهان دارویی ریحان، ریحان مقدس، پریلا و بالم ویتنامی در سیستم هواکشت باعث تولید ویتامین ث، کاروتنوئید و اسانس قابل توجهی در این گیاهان و افزایش کیفیت محصول شد (Böhme *et al.*, 2013).

در مطالعه حاضر بالاترین بازده اسانس مربوط به نعناع فلفلی بود. پس از آن گونه‌های نعناع آبی، نعناع سبز و پونه نیز بازده اسانس

نسبتاً بالایی داشتند. در حالی که نعناع سیب بازده اسانس پایینی داشت. در گیاهان دارویی که به‌منظور استخراج اسانس از پیکر رویشی کشت می‌شوند دو مؤلفه بازده اسانس و عملکرد ماده خشک اهمیت زیادی دارند. عملکرد اسانس تابعی از بازده اسانس و عملکرد پیکر رویشی گیاه است، بنابراین تغییر در هر کدام از مؤلفه‌ها سبب تغییر در عملکرد اسانس خواهد شد (Mumivand *et al.*, 2019). در این مطالعه با وجود این‌که نعناع آبی از بازده اسانس پایین‌تری نسبت به نعناع فلفلی برخوردار بود، اما به دلیل تولید ماده خشک بیشتر در نهایت عملکرد اسانس آن حتی بالاتر از نعناع فلفلی شد. در نهایت دو گونه نعناع آبی و نعناع فلفلی بازده اسانس بالاتری نسبت به سایر گونه‌ها نشان دادند.

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر قابلیت کشت پنج گونه با ارزش و دارویی از جنس نعناع در سیستم هواکشت مورد ارزیابی قرار گرفت. همه گونه‌های مورد مطالعه در این آزمایش با موفقیت در سیستم هواکشت پرورش یافتند. به دلیل راندمان بالای مصرف آب، عدم نیاز به خاک و تولید محصول بیشتر، کشت نعناع در سیستم هواکشت می‌تواند به عنوان روشی سالم و سودآور جایگزین کشت خاکی شود. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که بین گونه‌های نعناع از نظر رشد، عملکرد و صفات مورفولوژی، فیزیولوژی و بیوشیمیایی تفاوت معنی‌داری وجود داشت. انتخاب گونه‌هایی که در طیف وسیعی از محیط‌ها عملکرد خوبی داشته باشند، می‌تواند عملکرد کمی و کیفی نعناع را افزایش دهد. نعناع آبی از لحاظ اغلب صفات مورفولوژی و عملکردی مورد مطالعه بهتر از دیگر گونه‌ها نشان داد و پتانسیل بالای این گونه جهت کشت در سیستم هواکشت نمایان گردید. علاوه بر این نعناع فلفلی نیز رشد و عملکرد بالایی را در مقایسه با سایر گونه‌ها داشت. با این وجود تولیدکنندگان نعناع باید بر اساس مصارف دارویی و یا مصرف به عنوان سبزی، در انتخاب گونه مناسب جهت کشت تجاری از بین این دو گونه انتخاب نمایند.

منابع

1- Anon. (2009). Mentha Oil Seasonal Report retrieved from. http://www.karvycommodities.com/downloads/karvySpecialReports/karvysSpecialReports_20111012113231.pdf.

2- Asao, T. (2012). (Ed.), *Hydroponics: A Standard Methodology for Plant Biological Researches*. BoD Books on Demand.

3- Böhme, M., & Pinker, I. (2013). Asian leafy vegetables and herbs cultivated in substrate culture and aeroponics in greenhouse. In International Symposium on Growing Media and Soilless Cultivation 1034: 155-162. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1034.18.

4- Biddinger, E.J., Liu, C., Joly, R.J., & Raghothama, K.G. (1998). Physiological and molecular responses of aeroponically grown tomato plants to phosphorus deficiency. *Journal of the American Society for Horticultural Science 123*(2): 330-333.

5- Calori, A.H., Factor, T.L., Feltran, J.C., Watanabe, E.Y., Moraes, C.C.D., & Purquerio, L.F.V. (2017). Electrical conductivity of the nutrient solution and plant density in aeroponic production of seed potato under tropical conditions (winter/spring). *Bragantia* 76: 23-32. https://doi.org/10.1590/1678-4499.022.

6- Chandra, S., Khan, S., Avula, B., Lata, H., Yang, M.H., ElSohly, M.A., & Khan, I.A. (2014). *Assessment of total phenolic and flavonoid content, antioxidant properties, and yield of aeroponically and conventionally grown leafy vegetables and fruit crops: A comparative study*. Evidence-based Complementary and Alternative Medicine, 2014. https://doi.org/10.1155/2014/253875.

7- Chiipanthenga, M., Maliro, M., Demo, P., & Njoloma, J. (2012). Potential of aeroponics system in the production of quality potato (*Solanum tuberosum* L.) seed in developing countries. *African Journal of Biotechnology 11*(17): 3993-3999. https://doi.org/10.5897/AJB10.1138.

8- Dannehl, D., Taylor, Z., Suhl, J., Miranda, L., Fitz-Rodriguez, E., Lopez-Cruz, I., & Schmidt, U. (2017). Sustainable cities: viability of a hybrid aeroponic/nutrient film technique system for cultivation of tomatoes. *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering 11*(6): 470-477.

9- Dorai, M., Papadopoulos, A., & Gosselin, A. (2001). Influence of electric conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality. *Agronomie 21*(4): 367-383. https://doi.org/10.1051/agro:2001130.

10- Gopinath, P., Vethamoni, P.I., & Gomathi, M. (2017). Aeroponics soilless cultivation system for vegetable crops. *Chemical Science Review and Letters 6*(22): 838-849.

11- Hayden, A.L. (2006). Aeroponic and hydroponic systems for medicinal herb, rhizome, and root crops. *A Publication of the American Society for Hortcultural Science 41*(3): 536-538.

12- Hikosaka, Y., Kanechi, M., Sato, M., & Uno, Y. (2015). Dry-fog aeroponics affects the root growth of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L. cv. Greenspan) by changing the flow rate of spray fertigation. *Environmental Control in Biology 53*(4): 181-187. https://doi.org/10.2525/ecb.53.181.

13- Hothem, S.D., Marley, K.A., & Larson, R.A. (2003). Photochemistry in Hoagland's nutrient solution. *Journal of*

Plant Nutrition 26(4): 845-854. https://doi.org/10.1081/PLN-120018569.

14- Jie, H., & Kong, L.S. (1998). Growth and photosynthetic responses of three aeroponically grown lettuce cultivars (*Lactuca sativa* L.) to different rootzone temperatures and growth irradiances under tropical aerial conditions. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology 73*(2): 173-180. https://doi.org/10.1080/14620316.1998.11510961.

15- Kasrati, A., Jamali, C.A., Bekkouche, K., Wohlmuth, H., Leach, D., & Abbad, A. (2014). Plant growth, mineral nutrition and volatile oil composition of Mentha suaveolens subsp. timija (Briq.) Harley cultivated under salt stress conditions. *Industrial Crops and Products* 59: 80-84.

16- Kawasaki, Y., Matsuo, S., Kanayama, Y., & Kanahama, K. (2014). Effect of root-zone heating on root growth and activity, nutrient uptake, and fruit yield of tomato at low air temperatures. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* MI-001. https://doi.org/10.2503/jjshs1.MI-001.

17- Kernahan, K. (2016). U.S. Patent Application No. 14/341,781.

18- Kumar, P., Mishra, S., Malik, A., & Satya, S. (2011). Insecticidal properties of Mentha species: a review. *Industrial Crops and Products 34*(1): 802-817. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.02.019.

19- Lakhiar, I.A., Gao, J., Syed, T.N., Chandio, F.A., & Buttar, N.A. (2018). Modern plant cultivation technologies in agriculture under controlled environment: A review on aeroponics. *Journal of Plant Interactions 13*(1): 338-352. https://doi.org/10.1080/17429145.2018.1472308.

20- Lakhiar, I.A., Gao, J., Syed, T.N., Chandio, F.A., Tunio, M.H., Ahmad, F., & Solangi, K.A. (2020). Overview of the aeroponic agriculture–An emerging technology for global food security. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering 13*(1): 1-10. https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20201301.5156.

21- Lightenthaler, H.K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology* 148: 350-382. http://dx.doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1.

22- Luo, H.Y., Lee, S.K., & He, J. (2009). Integrated effects of root-zone temperatures and phosphorus levels on aeroponically-grown lettuce (*Lactuca sativa* L.) in the tropics. *The Open Horticulture Journal 2*(1). https://doi.org/10.2174/1874840600902010006.

23- Lynch, J., Marschner, P., & Rengel, Z. (2012). *Effect of internal and external factors on root growth and development*. In Marschner's mineral nutrition of higher plants (pp. 331-346). Academic Press.

24- Mateus-Rodríguez, J., De Haan, S., Barker, I., Chuquillanqui, C., & Rodríguez-Delfín, A. (2011). Response of three potato cultivars grown in a novel aeroponics system for mini-tuber seed production. *In II International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics* 947: 361-367.

25- Movahedi, Z., & Rostami, M. (2020). Production of some medicinal plants in aeroponic system. *Journal of Medicinal plants and By-product 9*(1): 91-99. https://doi.org/10.22092/JMPB.2020.122079.

26- Movahedi, Z., Moieni, A., & Soroushzadeh, A. (2012). Comparison of aeroponics and conventional soil systems for potato minitubers production and evaluation of their quality characters. *Journal of Plant Physiology and Breeding 2*(2): 13-21. (In Persian)

27- Molitor, H., & Fischer, M. (1997). Effect of several parameters on the growth of chrysanthemum stock plants in aeroponics. In *International Symposium on Growing Media and Hydroponics* 481: 179-186.

28- Mumivand, H., Aghemiri, A., Aghemiri, A., Morshedloo, M.R., & Nikoumanesh, K. (2019). Ferulago angulata and Tetrataenium lasiopetalum: Essential oils composition and antibacterial activity of the oils and extracts. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 22: 101407.

29- Mumivand, H., Babalar, M., Hadian, J., & Tabatabaei, S.M.F. (2010). Influence of nitrogen and calcium carbonate application rates on the minerals content of summer savory (*Satureja hortensis* L.) leaves. Horticulture environment and biotechnology, 51(3), 173-177.

30- Mumivand, H., Ebrahimi, A., Morshedloo, M.R., & Shayganfar, A. (2021). Water deficit stress changes in drug yield, antioxidant enzymes activity and essential oil quality and quantity of Tarragon (*Artemisia dracunculus* L.). *Industrial Crops and Products* 164: 113381. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113381.

31- Newall, C.A., Anderson, L.A., & Phillipson, J.D. (1996). *Herbal medicines. A guide for health-care professionals*. The pharmaceutical press.

32- Nezami, S., Nemati, H., Arooei, H., & Bagheri, A.R. (2016). Effect of soil moisture regimes under controlled conditions on growth and biomass in mentha species. *Journal of Plant Production 23*(2): 51-72. (In Persian)

33- Nooshkam, A., Mumivand, H., Hadian, J., Alemardan, A., & Morshedloo, M.R. (2017). Drug yield and essential oil and carvacrol contents of two species of Satureja (*S. khuzistanica* Jamzad and *S. rechingeri* Jamzad) cultivated in two different locations. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants* 6: 126-130.

34- Ortiz, E.L. (1992). *Encyclopedia of herbs, spices, and flavorings*. Dorling Kindersley.

35- Otazu, V. (2010). *Manual on quality seed potato production using aeroponics*. International Potato Center. https://doi.org/10.4160/9789290603924.

36- Pagliarulo, C.L., Hayden, A.L., & Giacomelli, G.A. (2004). *Potential for greenhouse aeroponic cultivation of Urtica dioica*. In VII International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climates: Production, Pest Management and Global Competition 659: 61-66. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.659.6.

37- Quattrocchi, U. (1974). *CRC World dictionary of plant names*: Common names, Scientific Names, Eponyms, Sonyonyms, and Etymology. III MQ.
38- Rakocy, J.E., Bailey, D.S., Shultz, R.C., & Thoman, E.S. (2004). *Update on tilapia and vegetable production in the UVI aquaponic system*. In New dimensions on farmed Tilapia: proceedings of the sixth international symposium on Tilapia in Aquaculture, held September (pp. 12-16).
39- Ritchie, S.W., Nguyen, H.T., & Holaday, A.S. (1990). Leaf water content and gas‐exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Journal of Crop Science 30*(1): 105-111. https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000010025x.
40- Ritter, E., Angulo, B., Riga, P., Herran, C., Relloso, J., & San Jose, M. (2001). Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers. *Journal of the European Association for Potato Research 44*(2): 127-135. https://doi.org/10.1007/BF02410099.
41- Rostami, M., & Movahedi, Z. (2016). Evaluating the effects of Naphthalene acetic acid (NAA) on morpho-physiological traits of valerian (*Valeriana officinalis* L.) in aeroponic system. *Iranian Journal of Plant Physiology 6*(3): 1751-1759.
42- Saha, S., Monroe, A., & Day, M.R. (2016). Growth, yield, plant quality and nutrition of basil (*Ocimum basilicum* L.) under soilless agricultural systems. *Annals of Agricultural Sciences 61*(2): 181-186. https://doi.org/10.1016/j.aoas.2016.10.001.
43- Spinoff, N.A.S.A. (2006). *Innovative partnership program*. Publications and graphics department NASA Center for Aerospace Information (CASI).
44- Taheri-Garavand, A., Mumivand, H., Fanourakis, D., Fatahi, S., & Taghipour, S. (2021). An artificial neural network approach for non-invasive estimation of essential oil content and composition through considering drying processing factors: A case study in *Mentha aquatica*. *Industrial Crops and Products* 171: 113985. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113985.
45- Tiwari, S. (2008). Plants: a rich source of herbal medicine. *Journal of Natural Products 1*(0): 27-35.
46- Yang, T., & Kim, H.J. (2019). Nutrient management regime affects water quality, crop growth, and nitrogen use efficiency of aquaponic systems. *Scientia Horticulturae* 256: 108619. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108619.
47- Zargari, A. (2014). *Medicinal plants*. Publisher of Tehran University. Third edition, p. 567. (In Persian)